

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Použití lokačních dynamických systémů pro  
sledování pohybu železničních vozidel**

Dynamic Location Systems Using for Railway Vehicles  
tracking

**Vypracoval:**

Vojtěch Janoš

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Janoš**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie  
Téma: **Použití lokačních dynamických systémů pro sledování pohybu  
železničních vozidel**  
**Dynamic Location Systems Using for Railway Vehicles Tracking**

Zásady pro vypracování:

1. Teorie pohybu vozidel při posunu.
2. Návrh použití lokačních dynamických systémů pro sledování pohybu železničních vozidel.
3. Realizace měření u provozovatele.
4. Vyhodnocení měření a realizace ověřovacího výpočtu.
5. Provozně technické hodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

DANĚK, J., TEICHMANN D.: Technologie železniční dopravy. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 130 s. ISBN 978-80-248-1568-8.  
Podklady provozovatele dopravy  
ŠIROKÝ, J. Mechanika v dopravě I. Kolejová doprava. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2004.  
ŠOLTÝS V., KECLÍK J., KUBENKA J.: Automatizácia v železničnej doprave . Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00342-0

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

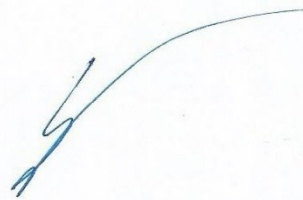
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaromírovi Šírokému Ph.D. za jeho odbornou výpomoc a užitečné rady při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti ČD Cargo, a.s. za umožnění přístupu na jejich lokomotivu za účelem vykonání měření.

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

### Adresa trvalého pobytu:

Lípová 940/47

747 14 Ludgeřovice

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

JANOŠ, V. *Použití lokačních dynamických systémů pro sledování pohybu železničních vozidel*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2015, 49 s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá použitím lokačního systému pro sledování pohybu železničních vozidel při posunu. Tento systém pracuje na základě GPS. Cílem této práce je vyhodnotit naměřená data prostřednictvím programu Performance Tools a tyto data ověřit pomocí výpočtů. Úvodní části se skládají z informací, jako jsou teorie posunu, pohybová rovnice železničních vozidel a základní informace o měřicím přístroji Performance Box. V druhé části je vyhodnocení a provedení ověřovacích výpočtů. Závěr obsahuje zhodnocení práce.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

JANOŠ, V. *Dynamic Location Systems Using for Railway Vehicles tracking*. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2015, 49 p. Thesis, head: Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.

Bachelor thesis is dealing with location systems using for railway vehicles tracking during shift. This system works on GPS. The aim of the thesis is to assess measured dates via Performance Tools and verify the dates via computations. The first part consists of information like the theory of shift, the equation of motion for railway vehicles and the basic information about Performance Box. In the second part there are evaluating and make verifying calculation. The final part is dealing with the progress of thesis.

# Obsah

1 Úvod.....	8
2 Teorie pohybu vozidel při posunu .....	9
2.1 Posun .....	9
2.2 Pohyb kolejových vozidel .....	12
2.2.1 Rovnováha sil .....	13
2.2.2 Odpor vozidlový .....	14
2.2.3 Odpor traťový .....	16
2.2.4 Odpor zrychlení .....	19
2.2.5 Rovnice pohybu vozidla .....	20
2.3 Konstrukce tachogramu jízdy .....	21
3 Návrh použití lokačních dynamických systémů pro sledování pohybu vlaku.....	23
3.1 Performance Box.....	23
3.2 Výpočet pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli .....	25
3.2.1 Místa ležící na stejném poledníku .....	26
3.2.2 Místa ležící na stejné rovnoběžce .....	26
3.2.3 Místa ležící na různém poledníku a různé rovnoběžce .....	27
4 Realizace měření u provozovatele .....	28
5 Vyhodnocení měření a realizace ověřovacího výpočtu .....	31
5.1 Vyhodnocení měření .....	31
5.2 Ověření ujeté dráhy při posunu .....	35
5.2.1 Zjištění zeměpisných souřadnic .....	35
5.2.2 Výpočet vzdálenosti dvou míst pomocí zeměpisných souřadnic .....	36
5.3 Ověření rychlosti jízdy při posunu .....	38
5.3.1 Ověření rychlosti pomocí tachografu .....	38
5.3.2 Ověření rychlosti pomocí tachogramu jízdy .....	39
6 Provozně technické hodnocení .....	45
7 Závěr .....	46

8 Seznam zdrojů a použité literatury .....	47
9 Seznam příloh .....	49

# 1 Úvod

V bakalářské práci se zabývám použitím lokačního systému pro sledování pohybu železničních vozidel. V dnešní době je sledování pohybu všech vozidel, ať už silničních nebo železničních, čím dále častější jev. Tyto systémy nebo přístroje jsou dnes využívány například většinou lidmi, kteří podnikají v železniční dopravě, v silniční nákladní dopravě nebo městské hromadné dopravě z hlediska lokace, doby jízdy a dodržování rychlosti, aby měli přehled o provozu svých vozidel. V závodním odvětví, jsou využívány pro zjištění zrychlení, brzděného zpomalení, jízdy na okruhu a dalších parametrů jednostopých i dvoustopých závodních dopravních prostředků. Umožňují získat potřebné informace, které dále můžeme analyzovat. Použití těchto systémů a přístrojů zjednodušuje práci, zvyšuje efektivitu a vede k lepším výsledkům.

Pro sledování pohybu železničních vozidel při posunu jsem použil přístroj Performance Box od firmy Racelogic. Tento přístroj pracuje na základě GPS. Cílem této práce je vyhodnotit naměřená data prostřednictvím programu Performance Tools a tyto data ověřit pomocí výpočtů.

V první části se zabývám pohybem železničních vozidel při posunu, přístrojem Performance Box a výpočtem pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli, protože přístroj pracuje na základě zeměpisných souřadnic. V druhé části analyzuji průběh měření, provedu ověřovací výpočty a v závěru zhodnotím práci.



## 2 Teorie pohybu vozidel při posunu

### 2.1 Posun

Posunem rozumíme každý úmyslný a organizovaný pohyb železničních kolejových vozidel, kromě jízdy vlaku. Základem je posuvná cesta, která zahrnuje koleje, kolejové křižovatky, kolejové brzdy, výměny, spádoviště, přesuvny a další technická zařízení.

Ve stanicích, kde je menší rozsah práce, nebývá vždy hnací vozidlo, které je určeno k posunu, a tak veškerý posun vykonává vlakový personál manipulačních vlaků. Ve vlakových stanicích a stanicích s větším rozsahem práce vykonávají tuto činnost posunovací čety.

Posun je rozeznáván podle toho, jakým způsobem jsou vozidla uváděna do pohybu, můžeme je tedy rozdělit na posun [2]:

- a) hnacími vozidly;
- b) speciálními hnacími vozidly;
- c) silničními vozidly;
- d) ruční posun;
- e) mechanizačním zařízením.

**Posun hnacími vozidly** je posun, kdy jsou vozidla uvedena do pohybu pomocí hnacího vozidla různými způsoby posunu.

**Posun speciálními hnacími vozidly** se provádí jen zajištěním. Ostatní způsoby nejsou dovoleny, protože by mohlo dojít k poškození speciálního vozidla.

**Posun silničními vozidly** je posun, kdy silniční vozidlo táhne železniční vozidlo na laně nebo řetězu alespoň 3m dlouhém. Silniční vozidlo se musí pohybovat mimo koleje.

**Ruční posun** je prováděn zaměstnanci, kteří tlačí železniční vozidlo ze strany a nesmí jít v koleji nebo mezi vozidly.

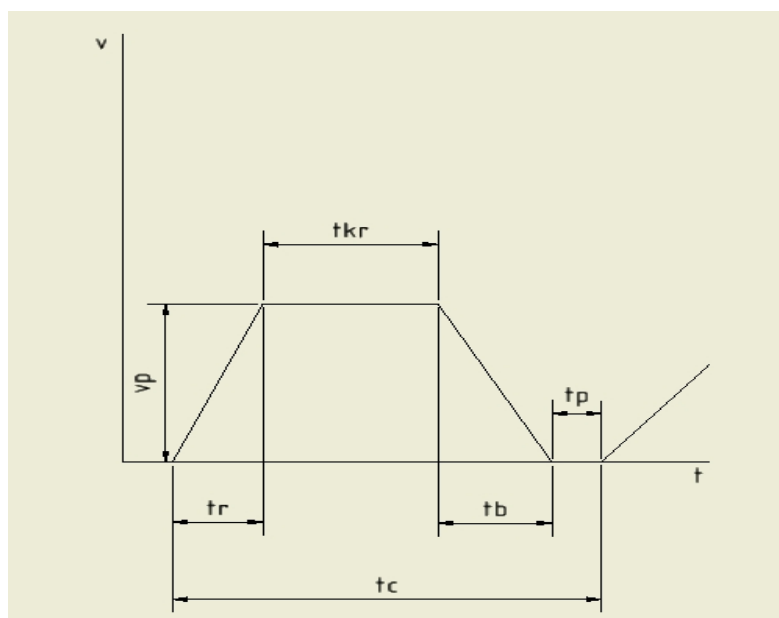
**Posun mechanizačním zařízením** se uskutečňuje pomocí vrátku, posunovače nebo navijáku. Pro tento posun jsou vydávány pokyny od výrobce a Staniční řád stanovuje dopravní podmínky.

Nejpoužívanější způsob posunu na síti ČD, u provozovatelů dráhy a u provozovatelů drážní dopravy je posun hnacími vozidly. Rozdílnosti mezi posunem hnacím vozidlem a jízdou vlaku na traťovém úseku jsou následující [4]:

- brzdové potrubí není spojené a posunující díl brzdí pouze hnacím vozidlem;

- posun vozidel je realizován buď tažením, kdy je hnací vozidlo vpředu a táhne soupravu vozidel, nebo sunutím, kdy je hnací vozidlo vzadu a sune soupravu vozidel;
- nejčastější maximální stanovená rychlost v rámci bezpečnosti je  $V_{\max} = 40 \text{ km.h}^{-1}$  pro tažení a  $V_{\max} = 30 \text{ km.h}^{-1}$  pro sunutí;
- jízdy se uskutečňují na krátkých vzdálenostech a dochází k častým rozjezdům a častému brždění vozidel a tažená vozidla mají různou hmotnost;
- posun se provádí na tratích s malým sklonem, udává se  $s \in (0; 2,5 \text{ ‰})$ .

Jízdu posunujícího dílu můžu znázornit přímkovým tachogramem na obrázku obr. 2.1. Podle něj můžu dobu jednoho cyklu posunu  $t_c$  stanovit následovně [4]:



Obr. 2.1: Přímkový tachogram jízdy [4].

$$t_c = t_p + t_r + t_{kr} + t_b \quad [s] \quad (2.1)$$

kde:

$t_p$	přípravná doba sloužící k přípravě HV pro další cyklus	[s]
$t_r$	doba rozjezdu na rychlost posunu $v_p$	[s]
$t_{kr}$	doba jízdy konstantní rychlostí	[s]
$t_b$	doba brždění z $v_p$ do zastavení	[s]

V přímkovém tachogramu na obrázku obr. 2.1 pak představuje ujetá dráha plochu ohraničenou průběhem rychlosti a pořadnicí rychlosti a můžeme ji charakterizovat vztahem [4]:

$$l_p = l_r + l_{kr} + l_b = \frac{v_p \cdot t_r}{2} + v_p \cdot t_{pr} + \frac{v_p \cdot t_b}{2} \quad [m] \quad (2.2)$$

kde:

$l_r$  dráha rozjezdu posunujícího dílu na rychlost  $v_p$  [m]

$l_{kr}$  dráha jízdy konstantní rychlostí  $v_p$  [m]

$l_b$  dráha brzdění z rychlosti  $v_p$  [m]

$v_p$  rychlost posunu [km.h<sup>-1</sup>]

Posun hnacími vozidly můžeme rozdělit na posun [1]:

- a) zajížděním;
- b) odrazem;
- a) trhnutím;
- b) spouštěním.

**Posun zajížděním** je posun, kdy posunovaná vozidla jsou přivěšena k vozidlu hnacímu. Tento posun je nejbezpečnější a takto můžeme posunovat všechna vozidla.

**Posun odrazem** je způsob posunu, kdy sunutá vozidla jsou uvedena do pohybu vozidlem hnacím a nejsou k němu přivěšena. Vozidlo hnací zastaví a ostatní vozidla pokračují v jízdě.

**Posun trhnutím** se provádí tak, že hnací vozidlo táhne ostatní vozidla a za jízdy se vozidla odvěsí v době, kdy hnací vozidlo zpomalí. Následuje zrychlení hnacího vozidla, přejede výhybku, která je poté přestavěna posunovačem a ostatní vozidla jedou na jinou kolej. Před začátkem tohoto posunu se musí dostatečně povolit šroubovky, aby je bylo možno během jízdy vyvěsit. Tento posun se smí provádět pouze přes ručně přestavované výhybky. Posun trhnutím je nejnebezpečnější způsob posunu a mohou ho provádět pouze zvláště vycvičení zaměstnanci.

**Posun spouštěním** je posun, kdy se odvěšená vozidla dávají pomocí gravitace na spádu do pohybu. Tento posun je vykonáván pouze ve velkých seřaďovacích stanicích, kde

je zřízen svážný pahrbek. Před posunem jsou povoleny šroubovky. Hnací vozidlo sune ostatní vozidla ke svážnému pahrbku, kde jsou rozvěšeny pomocí tyče a sjíždějí po spádu.

Každý posun musí řídit jeden zaměstnanec, který je odborně způsobilý k řízení posunu. Řídit posun mohou [2]:

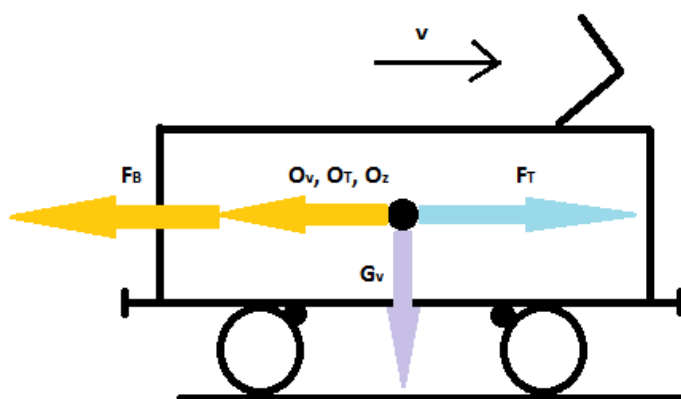
- a) strojvedoucí, kromě případů uvedených v písmenech b) - e);
- b) zaměstnanec dávající pokyn k jízdě při posunu za námezník (tímto zaměstnancem není zaměstnanec, dávající ruční návěst **Posun za námezník**);
- c) zaměstnanec, dávající při vjezdu vlaku na obsazenou kolej (popř. na kolej obsazenou vozidly) strojvedoucímu pokyn k najetí za stojící vozidla;
- d) zaměstnanec pro řízení sledu při jízdě na a z vyloučené koleje;
- e) zaměstnanec, který při jednoduchém posunu rozhoduje o pohybu vozidel a tento pohyb řídí;
- f) vedoucí posunové čety.

Ve stanicích se smí posunovat pouze k označníku. Pokud je nutné posunovat za označník, musí se dohodnout výpravčí ze sousedních stanic. Označník je návěstidlo mezi vjezdovým návěstidlem a krajní výměnou. Je to bílý sloupek s modrou čepičkou. Dnes se již nahrazuje stožárovým a trpasličím světelným seřadovacím návěstidlem [1][2].

## 2.2 Pohyb kolejových vozidel

Pokud chceme uvést železniční vozidla do pohybu, tak hnací vozidlo musí vyvinout dostatečně velkou tažnou sílu a tím vykoná i mechanickou práci. Čím více se zvyšuje rychlost, tím více se zvyšuje kinetická energie vozidla. Mechanická práce se vyjádří jako síla, která působí proti tažné síle hnacího vozidla. Síly působící na pohyb vozidla jsou znázorněny na obrázku obr. 2.2 a můžu je rozdělit do tří skupin [4][7]:

- a) tažné – působí ve směru pohybu vozidla ( $F_t$ );
- b) odporové – působí proti směru pohybu vozidla ( $\sum O$ );
- c) brzdné - působí proti směru pohybu vozidla ( $F_B$ ).



Obr. 2.2: Síly, které působí na pohybující se vozidlo [4].

Při pohybu vlaku působí na vozidla mnoho sil a je složité je přesně popsat, proto používáme zjednodušení, která zanedbávají síly s malým působením. V teorii pohybu kolejových vozidel použijeme následující předpoklady [4]:

- 1) Mechanický pohyb kolejových vozidel je možné z matematického hlediska popsat jako pohyb hmotného bodu s jedním stupněm volnosti. Tím pro popis je postačující pouze jedna diferenciální rovnice.
- 2) Při pohybu vozidel na ně působí pouze vnější kolineární síly ve směru pohybu vozidel a síly tíhové.
- 3) Síly působící na vozidla jsou statické, stanovené nebo vypočtené podle statických charakteristik. Můžeme předpokládat, že změna pohybu se děje při okamžité změně působících sil.
- 4) Pro předem stanovené výpočty je možno použít po částech spojitě lineární aproximace spojitě nelineární funkce. To umožňuje řešit integrální úlohy pomocí převodu z tvaru diferenciálního do tvaru diferenčního a použití numerických metod při výpočtech konkrétně zadaných úloh.

### 2.2.1 Rovnováha sil

Rovnováhu sil můžeme napsat ve skalárním tvaru [4]:

$$F_T - O - F_B = 0 \quad [N] \quad (2.3)$$

kde:

$F_T$	tažná síla	[N]
$O$	odpory	[N]

$F_B$       brzdná síla                      [N]

Tažná síla se u hnacího vozidla vyvíjí pomocí krouticího momentu  $M_k$  na obvod kol hnacího dvojkolí. Tažná síla vozidel tažených, je závislá na vozidle hnacím.

Jízdní odpory jsou součty sil působící proti pohybu vozidla. Odpory můžu rozdělit na [4][7]:

- odpory pasivní – vznikají mezi primárním zdrojem energie a místem realizace tažné síly;
- odpory aktivní – okolní síly působící na pohyb vozidla

Brzdné síly jsou síly působící proti pohybu vozidla. Vznikají působením brzdového zařízení. V následující rovnici tuto sílu zanedbám. Můžu říci, že:

$$F_T - \sum O_i = 0 \quad [N] \quad (2.4)$$

kde sumu odporů rozepíšu jako:

$$\sum O_i = O_v + O_T + O_Z \quad [N] \quad (2.5)$$

kde:

$O_v$       vozidlový odpor                      [N]

$O_T$       traťový odpor                      [N]

$O_Z$       odpor zrychlení                      [N]

### 2.2.2 Odpor vozidlový

Vozidlový odpor závisí na konstrukci, tvaru a rychlosti vozidla. Záleží ale i na konkrétních podmínkách a ty jsou značně proměnlivé. Z konstrukčního hlediska můžu říci, že vozidlový odpor vzniká na více místech [7]:

- odpor valení kola po kolejnici – při pohybu dochází mezi kolem a kolejnici k deformaci, kde vznikají malé plošky ve tvaru elipsy a důsledkem toho vzniká moment, který působí proti rotaci kola;

- odpor tření v ložiskách – síly, působící ve valivých i kluzných ložiskách, se nazývají třecí síly a působí proti rotaci kola;
- odpor prostředí – při pohybu vozidla dochází k nárazu vzduchu na vozidlo, a proto je tento odpor vyvolaný odporem vzduchu.

Sečtením těchto tří složek vyjádřím vozidlový odpor:

$$O_V = O_f + O_l + O_{vz} \quad [N] \quad (2.6)$$

kde:

$O_f$       odpor valivý       $[N]$

$O_l$       odpor čepového tření v ložiscích       $[N]$

$O_{vz}$       odpor prostředí       $[N]$

Na základě jízdních zkoušek byly stanoveny výrazy pro výpočet měrného vozidlového odporu. Tato rovnice je kvadratická, obsahuje tři konstanty a jednu proměnnou. Můžu ji tedy napsat ve tvaru [4]:

$$o_v = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad [-] \quad (2.7)$$

kde:

$a, b, c$       koeficienty polynomu       $[-]$

$V$       okamžitá rychlost       $[km.h^{-1}]$

Na základě jízdních zkoušek byly vytvořeny tři skupiny hodnot koeficientů polynomů. Patří zde hodnoty pro hnací vozidla, motorové a elektrické jednotky a tažená vozidla. Kvůli společným znakům byly zavedeny další podskupiny a rozdílnost je v uspořádání pojezdu nebo hmotnosti vozidel.

Celkový vozidlový odpor můžu také vyjádřit jako [4]:

$$O_V = G_V \cdot o_v \quad [N] \quad (2.8)$$

kde:

$G_v$       tíha vozidla      [N]

$o_v$       měrný vozidlový odpor      [-]

### 2.2.3 Odpor trat'ový

Tento odpor působí proti pohybu vozidla vlivem uspořádání tratě. Dále je také ovlivněn délkou a hmotností soupravy vozidel.

Trat'ový odpor ovlivňují [4]:

- odpor sklonu  $O_{skl}$
- odpor oblouku  $O_{obl}$
- odpor tunelu  $O_{tun}$

Celkový trat'ový odpor vypočítám podle vzorce [4]:

$$O_T = G_v \cdot o_T \quad [N] \quad (2.9)$$

kde:

$G_v$       tíha vozidla      [N]

$o_t$       součinitel odporu tratě      [-]

Součinitel odporu tratě vypočítám jako:

$$o_T = s \cdot 10^{-3} \quad [-] \quad (2.10)$$

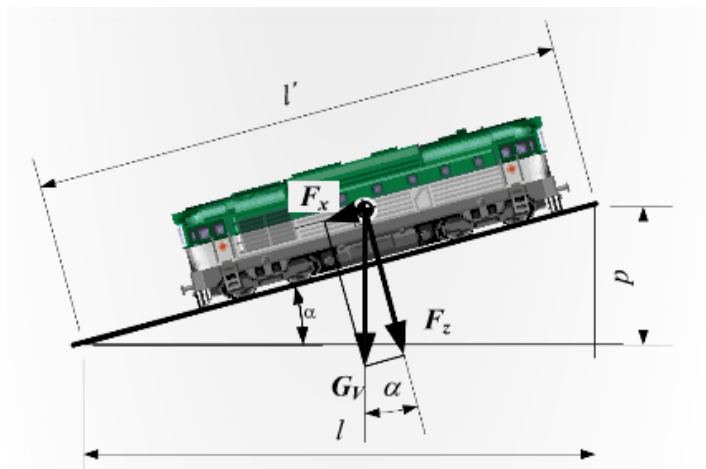
kde:

$s$       sklon tratě      [‰]



### 2.2.3.1 Odpor sklonu

Na obrázku obr 2.3 můžete vidět rozklad tíhy vozidla  $G_v$  v závislosti na sklonu tratě, která je dána úhlem  $\alpha$ .



Obr. 2.3: Pohyb vozidla na sklonu. [7]

Síla  $F_x$  je rovnoběžná se směrem jízdy vozidla. Při stoupání působí proti směru jízdy vozidla, při jízdě po spádu působí ve směru jízdy vozidla. Vyjádřím ji [4]:

$$O_{SKL} = G_v \cdot \sin \alpha = m_v \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (2.11)$$

kde:

$G_v$	tíha vozidla	[N]
$m_v$	hmotnost vozidla	[kg]
$g$	tíhové zrychlení	[ms <sup>-2</sup> ]

Sklon tratě  $s$ , jako změna nivelety tratě na úseku 1000 m, můžu vyjádřit jako:

$$\frac{p}{l'} = \sin \alpha = \frac{s}{1000}; \rightarrow s = 1000 \cdot \sin \alpha \quad [\%] \quad (2.12)$$

kde:

$p$	převýšení tratě	[m]
$l'$	délka sklonového úseku	[m]
$s$	sklon tratě	[‰]

V reálném provozu využíváme k zjištění délky tratě průmět do vodorovné roviny, proto sklon tratě  $s$  můžeme vyjádřit jako:

$$\frac{p}{l} = \tan \alpha = \frac{s}{1000}; \rightarrow s = 1000 \cdot \tan \alpha \quad [\%] \quad (2.13)$$

kde:

$p$	převýšení tratě	[m]
$l$	průmět délky sklonového úseku do vodorovné roviny	[m]

Podle znaménka můžeme hodnotu sklonu rozdělit [4]:

- $s > 0$  vozidlo se ve směru jízdy pohybuje do stoupání
- $s < 0$  vozidlo se ve směru jízdy pohybuje do spádu
- $s = 0$  vozidlo se pohybuje po vodorovné trati

### 2.2.3.2 Odpor oblouku

Při průjezdu vozidla obloukem vznikají vnější síly, které odchyľují vozidlo z přímého směru. Ty vyvolávají tečné reakce mezi kolem a kolejnicí, a proto působí jako pasivní odpory.

V praxi se tyto odpory dají špatně analyticky vyjádřit, proto se pro vozební výpočty vyjadřují pomocí empirických vzorců. Vliv oblouků nahrazujeme hodnotou *přídavného sklonu*  $s_{obl}$ , který určujeme podle následujících vztahů [4][7]:

$$S_{OBL} = \frac{600}{R} \quad [\%] \quad \text{konvenční tratě s rozchodem } e=1435\text{mm} \quad (2.14)$$

### 2.2.3.3 Odpor tunelu

Při průjezdu tunelem dochází k většímu odporu vzduchu a víření vzduchu okolo vlaku, proto jsou zavedeny tyto empirické hodnoty [4]:

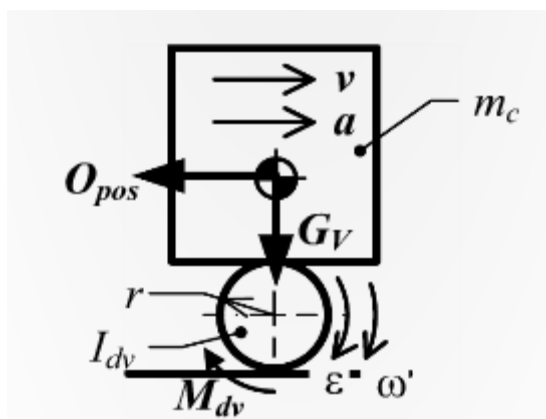
$$\begin{aligned} S_{TUN} &= 2 \text{ N.kN}^{-1} && \text{jednokolejný tunel} \\ S_{TUN} &= 1 \text{ N.kN}^{-1} && \text{dvoukolejný tunel} \end{aligned}$$

## 2.2.4 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení závisí na velikosti zrychlení, na hmotnosti vozidla a na velikosti součinitele rotujících hmot. Při změně rychlosti působí na vozidlo síly, které se dělí na dvě složky a jsou to [4]:

- odpor zrychlení rotujících hmot;
- odpor zrychlení posuvných hmot.

Na obrázku obr. 2.4 můžete vidět síly působící na zjednodušený model vozidla.



Obr. 2.4: Zjednodušený model vozidla. [7]

### Odpor zrychlení rotujících hmot

$$M_{\text{rot}} = O_{\text{rot}} \cdot r \quad [\text{N.m}] \quad (2.15)$$

$$M_{\text{rot}} = I_{\text{dv}} \cdot \epsilon_{\text{dv}} \quad [\text{kg.m}^2] \quad (2.16)$$

$$O_{\text{rot}} = I_{\text{dv}} \cdot \frac{a}{r_d^2} \quad [\text{N}] \quad (2.17)$$

### Odpor zrychlení posuvných hmot

$$O_{\text{pos}} = m_v \cdot a = \frac{G_v}{g} \cdot a \quad [\text{N}] \quad (2.18)$$

### Celkový odpor zrychlení

$$O_a = O_{\text{rot}} + O_{\text{pos}} \quad [\text{N}] \quad (2.19)$$

Po dosazení rovnic (2.25) a (2.26) získám tuto rovnici:

$$O_a = m_v \cdot a + I_{dv} \cdot \frac{a}{r_{dv}^2} \quad [\text{N}] \quad (2.20)$$

$$O_a = m_v \cdot a \cdot \left(1 + \frac{I_{dv}}{m_v \cdot r_{dv}^2}\right) \quad [\text{N}] \quad (2.21)$$

$$O_a = m_v \cdot a \cdot (1 + \rho) \quad [\text{N}] \quad (2.22)$$

$$O_a = \frac{G_v}{g} \cdot (1 + \rho) \cdot \frac{d_v}{d_t} \quad [\text{N}] \quad (2.23)$$

kde:

$m_v$	hmotnost vozidla	[kg]
$a$	zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$I_{dv}$	moment setrvačnosti	[kg.m <sup>2</sup> ]
$r_{dv}$	poloměr dvojkolí	[m]
$\rho$	součinitel vlivu rotujících hmot	[-]

### 2.2.5 Rovnice pohybu vozidla

Na základě rovnice 2.4 můžu napsat, že [4]:

$$F_O - O_v - O_T - O_a = 0 \quad (2.24)$$

Po vyjádření jednotlivých složek získám:

$$F_O - G_{VL} \cdot o_{VL} - G_{VL} \cdot o_T - \frac{G_{VL}}{g} \cdot (1 + \rho) \cdot a = 0 \quad (2.25)$$

Dále pak dostanu výslednou **rovnici pohybu kolejových vozidel** [4]:

$$F_O - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = \frac{G_L + G_D}{g} \cdot (1 + \rho) \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2.26)$$

kde:

$F_O$	tažná síla na obvodu kol	[N]
$G_L$	tíha hnacího vozidla	[N]
$G_D$	tíha tažených vozidel	[N]
$o_L$	součinitel vozidlového odporu hnacích vozidel	[N]
$o_D$	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel	[N]
$o_T$	součinitel odporu trati	[N]
$v$	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$t$	čas	[s]

## 2.3 Konstrukce tachogramu jízdy

Tachogram představuje znázornění závislosti rychlosti vozidel na nezávislém parametru. Touto nezávislou veličinou může být ujetá dráha, pak  $V=f(L)$  – dráhový tachogram, nebo touto veličinou je čas, pak  $V=f(T)$  – časový tachogram, někdy nazývaný hodogram. Tachogramy realizujeme buď číselně (většinou tabulkově) nebo graficky (větší názornost) [5].

Pro číselnou konstrukci tachogramu jízdy potřebuji určité veličiny. Tyto veličiny jsou následující:  $V_i$ ,  $V_{i-1}$ ,  $V_s$ ,  $\Delta L$ ,  $L_i$  a  $\Delta V_i$ , kterou získám po transformaci pohybové rovnice 2.26. Rovnice můžu vypočítat jako [5]:

$$V_i = V_{i-1} + \Delta V_i \quad [\text{km.h}^{-1}] \quad (2.27)$$

$$V_{i-1} = \Delta V_{i-1} \quad [\text{km.h}^{-1}] \quad (2.28)$$

$$V_s = \frac{V_i + V_{i-1}}{2} \quad [\text{km.h}^{-1}] \quad (2.29)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta t}{3600} \cdot V_s \quad [\text{km}] \quad (2.30)$$

$$L_i = \Delta L_i \cdot L_{i-1} \quad [\text{km}] \quad (2.31)$$

Kde:

$L_i$  celková ujetá dráha [km]

$\Delta L$  ujetá dráha v závislosti na  $\Delta t$  [km]

$V_s$  průměrná rychlost [km.h<sup>-1</sup>]

$V_i$  okamžitá rychlost [km.h<sup>-1</sup>]

$\Delta V_i$  rychlost v závislosti na  $\Delta t$  [km.h<sup>-1</sup>]

### 3 Návrh použití lokačních dynamických systémů pro sledování pohybu vlaku

#### 3.1 Performance Box

Performance Box je přístroj vyrobený firmou Racelogic pocházející z Velké Británie. Přístroj je zobrazen na obrázku obr. 3.1. Racelogic navrhuje a vyrábí elektronické přístroje a systémy pro měření, záznamy, analýzu a simulaci dat z pohybujících se vozidel. Performance Box je založen na Racelogic VBOX, který je používán většinou výrobci aut, pneumatik, ale také základem pro časopisy zabývající se závodními a sportovními vozidly. Firma Racelogic vyrábí i další produkty jako jsou DriftBox, VBOX Sport nebo LabSat a další.



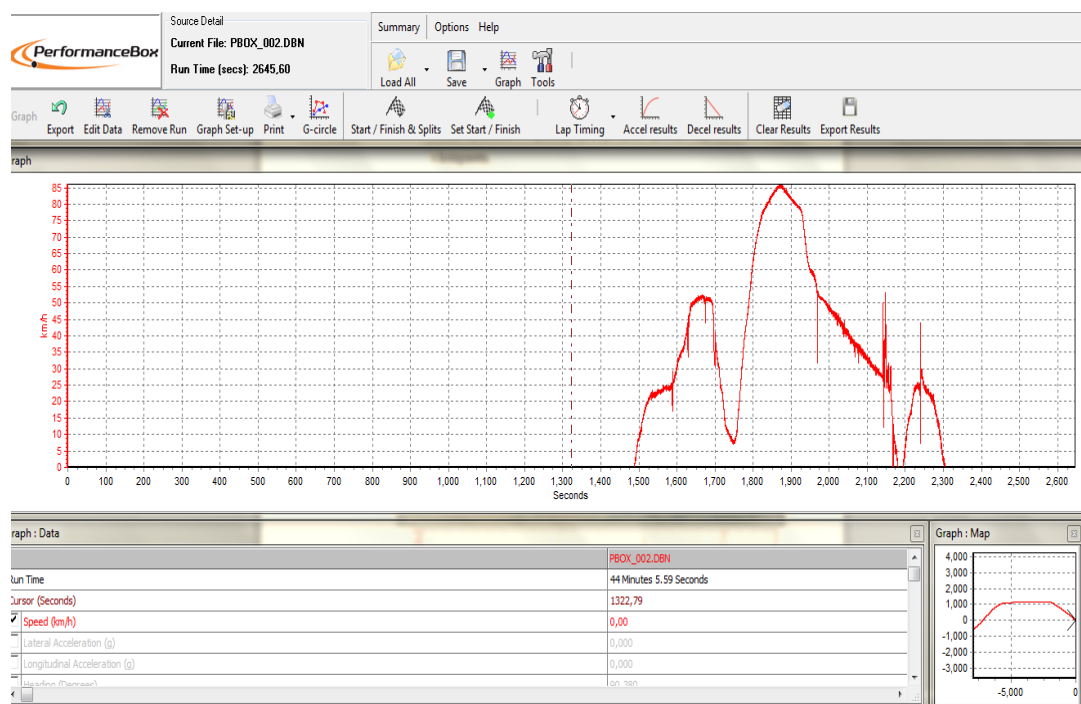
Obr. 3.1: *Performance Box* [9].

Přístroj Performance Box obsahuje mnoho funkcí sloužící k měření pohybujícího se vozidla. Jsou to:

- **režim výkonu** – zrychlení (0-60, 0-100), brzdění (60-0, 100-0), vzdálenost (1/4 míle, 1/2 míle);
- **režim měření času na okruhu** – čas za jedno kolo, mezičas, nejrychlejší čas ze všech naměřených hodnot;
- **režim síly** – hnací síla na kolech, hnací síla setrvačniku;
- **režim rychlosti** – přístroj pracuje jako přesný digitální rychloměr s kompasem;

- **předpovědní režim** – umožňuje graficky zobrazit předpokládaný čas na jedno kolo na okruhu.

Performace Box je přístroj k měření výkonu a shromažďování dat založených na GPS. Naměřená data jsou uložena na přenosné SD kartě, kterou poté můžeme vložit do notebooku nebo podobných zařízení a přenést námi naměřená data a dále je zpracovávat pomocí programu. Tento program slouží ke grafickému a číselnému vyhodnocení zjištěných dat. Na obrázku obr. 3.2 je ukázka pracovní plochy programu.



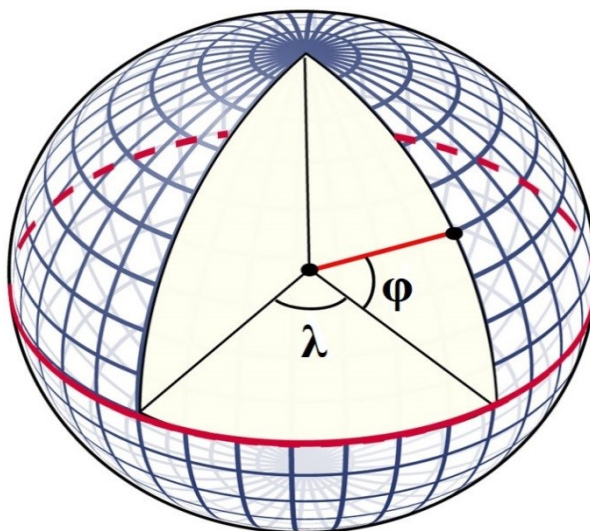
Obr. 3.2: Program Performance Tools.

Pracovní plocha tohoto programu je rozdělena do čtyř částí. První část se nazývá nástrojová lišta. Je zobrazena v horní části pracovní plochy. Jsou zde ikony jednotlivých funkcí, které již byly zmíněny, a pomocí kterých můžeme měnit obsah a strukturu ostatních oken. V druhé části je zobrazen graf, kde je graficky zobrazen průběh dat, které si zvolíme. Ve spodní části se nachází tabulka s různými typy dat, jako jsou: rychlost, podélné zrychlení, příčné zrychlení, výška, satelity, zeměpisná délka, zeměpisná šířka, poloměr zatáčky, začátek brzdění, čas a vzdálenost. V pravé spodní části je mapa, která obsahuje dráhu, po které se vozidlo pohybuje a je měřeno pomocí zeměpisné délky a zeměpisné šířky.



### 3.2 Výpočet pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli

Nejpřesnějším způsobem, jak zjistit vzdálenost dvou míst na zeměkouli, je výpočet pomocí znalosti zeměpisných souřadnic. V geografii a kartografii se tyto souřadnice nazývají zeměpisná délka a zeměpisná šířka, jsou zobrazeny v zeměpisné síti. Zeměpisná délka je zobrazena směrem k východu nebo západu od nultého poledníku. Označuje se řeckým písmenem lambda  $\lambda$ . Zeměpisná šířka je zobrazena směrem k severu nebo k jihu od rovníku. Označuje se řeckým písmenem phi  $\varphi$ . Zobrazení těchto dvou souřadnic můžeme vidět na obrázku obr. 3.3. Při výpočtech budeme uvažovat nejkratší vzdálenost mezi dvěma body. Nejkratší spojnice mezi dvěma místy na zeměkouli se nazývá ortodroma.



Obr. 3.3: Zobrazení zeměpisné šířky a zeměpisné délky v zeměpisné síti [11].

Mohou nastat tři případy, pomocí kterých vypočteme vzdálenost. Jsou to:

- stejná zeměpisná délka – místa ležící na stejném poledníku
- stejná zeměpisná šířka – místa ležící na stejné rovnoběžce
- různá zeměpisná délka i šířka

### 3.2.1 Místa ležící na stejném poledníku

Pokud chceme určit polohou dvou míst ležících na stejném poledníku, bude nám stačit, když známe jejich zeměpisnou šířku. Při výpočtu budeme uvažovat, že průměrný poloměr zeměkoule je  $R = 6378$  km. Vzdálenost dvou míst můžeme tedy vypočítat jako:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{360} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \quad [\text{km}] \quad (3.1)$$

kde:

$R$       průměrný poloměr zeměkoule      [km]

$\varphi_{1,2}$     zeměpisné šířky      [°]

### 3.2.2 Místa ležící na stejné rovnoběžce

Pokud chceme určit polohu dvou míst ležících na stejné rovnoběžce, bude nám stačit, když známe jejich zeměpisnou délku. Při výpočtu budeme uvažovat, že průměrný poloměr zeměkoule je  $R = 6378$  km. Vzdálenost dvou míst můžeme tedy vypočítat jako:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{360} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \cdot \cos \varphi \quad [\text{km}] \quad (3.2)$$

kde:

$R$       průměrný poloměr zeměkoule      [km]

$\lambda_{1,2}$     zeměpisné délky      [°]

$\varphi$       zeměpisná šířka      [°]

### 3.2.3 Místa ležící na různém poledníku a různé rovnoběžce

Nejčastějším případem při výpočtu dvou míst na zeměkouli je případ, kdy místa mají různou zeměpisnou šířku i délku. Při výpočtu budeme uvažovat, že průměrný poloměr zeměkoule je  $R = 6378$  km. Postup je takový, že nejdříve zjistíme zeměpisné souřadnice, a potom dosadíme do kosinové věty sférické trigonometrie. Vzdálenost dvou míst můžeme tedy vypočítat jako:

$$\cos D = (\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2) + (\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos |\lambda_1 - \lambda_2|) \quad [^\circ] \quad (3.3)$$

kde:

$\lambda_{1,2}$  zeměpisné délky  $[^\circ]$

$\varphi_{1,2}$  zeměpisné šířky  $[^\circ]$

D úhel, vymezející oblouk hlavní kružnice  $[^\circ]$

Po zjištěné hodnotě D musíme dále provést přepočet na skutečnou kilometrickou vzdálenost. Vypočteme ji tedy jako:

$$D_{\text{km}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{360} \cdot D \quad [\text{km}] \quad (3.4)$$

## 4 Realizace měření u provozovatele

Místo, kde se provedlo měření, bylo hlavní nádraží v Ostravě. Posun se prováděl pouze ve stanici. Typ posunu byl zajiždění. Posunovalo se ze směrové skupiny kolejí na odjezdovou skupinu kolejí. Posunovací lokomotiva byla motorová, vyrobena firmou ČKD Praha a je znázorněna na obrázku obr. 4.1. Přesné označení lokomotivy je 742 447 – 6. Mezinárodní označení je CZ ČDC 92 54 2 742 447 – 6.



Obr. 4.1: Lokomotiva 742 447-6.

Rok výroby této lokomotivy probíhal v letech 1977-1986. Jedná se o čtyřnápravovou lokomotivu s uspořádáním pojezdu Bo'Bo'. Je zde nezávislá trakce s elektrickým stejnosměrným přenosem výkonu. Výkon trakčního generátoru je 780 kVA a hodnota příkonu trakčního motoru je 195 kVA. Lokomotiva je poháněna vznětovým šestiválcem ČKD K 6 S 230 DR, s přímým vstřikováním a chlazený vodou. Zdvihový objem motoru činí 64,8 l. Výkon motoru, generátoru a trakčních motorů je řízen v osmi otáčkových stupních. Maximální výkon na výstupu ze spalovacího motoru činí 883kW při 1250 ot/min. Při volnoběhu se otáčky nachází na úrovni 400 ot/min. Nejvyšší rychlost této lokomotivy je 90 km/h. Služební hmotnost hnacího vozidla dosahuje hodnoty 64 tun.

Během měření a posunu jsem sdílel kabinu společně se strojvedoucím. Přístroj Performance Box byl umístěn na palubní desku obr. 4.2. Instalace přístroje je jednoduchá, jeden konec kabelu byl zapojen do přístroje a druhý konec s přijímačem byl přichycen na střechu vozidla. Poté jsem zapnul přístroj a nastavil určitý režim, konkrétně režim rychlosti, znázorněno na obrázku obr. 4.3.



Obr. 4.2: Umístění Performance Boxu.



Obr. 4.3: Režim rychlosti.

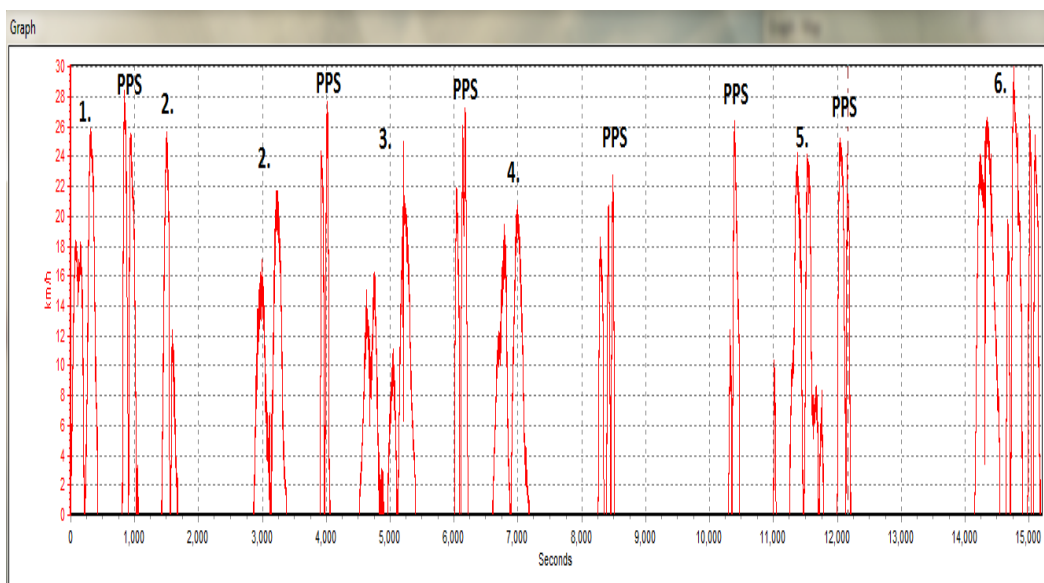
Během doby měření se uskutečnilo 7 jízd se soupravou vozidel ze směrové skupiny kolejí na odjezdovou skupinu kolejí. Celkem bylo přesunuto 155 vozů, ložených i prázdných, v různých časových intervalech. Po dopravení soupravy vozidel na odjezdovou skupinu kolejí následoval příjezd pro další soupravu vozidel. Po příjezdu lokomotivy

k soupravě následovala menší přestávka, jelikož bylo zapotřebí odbrzdit soupravu vozidel, připojit šroubovku, brzdové potrubí a provést úplnou zkoušku brzdy. Rychlost posunovací lokomotivy se soupravou vozidel se odvíjela od ujeté vzdálenosti, pohybovala se zhruba v rozmezí 15-30 km/h. Technologie posunu probíhala na základě rádiovém dorozumívání mezi strojvedoucím, vedoucím posunu a pověřeným zaměstnancem.

## 5 Vyhodnocení měření a realizace ověřovacího výpočtu

### 5.1 Vyhodnocení měření

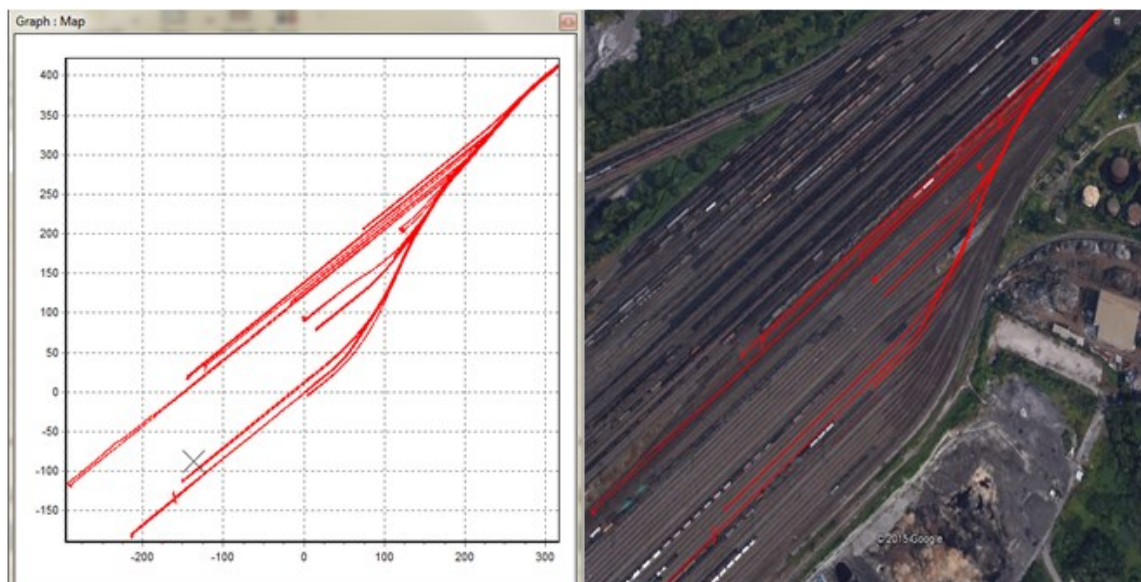
Pomocí programu Performance Tools (dále jen PT) můžu zjistit mnoho informací, co se týče pohybu vozidla. Naměřená data jsem vložil do programu PT. V grafu závislosti rychlosti na čase na obrázku obr. 5.1 je zobrazen kompletní přehled jízd. Orientaci a směr jízdy jsem zjišťoval pomocí mapy v PT. Program PT umožňuje exportovat data do příslušných formátů pro využití v dalších programech nebo aplikacích, jako jsou Microsoft Excel, Google Earth nebo Mapping Software. Mapa v programu PT (vlevo) a vykreslení jízd pomocí Google Earth (vpravo) je pro srovnání zobrazena na obrázku obr. 5.2.



Obr. 5.1: Znáznornění jednotlivých jízd v časových jednotkách.

Všechny jízdy jsou označeny čísly 1 – 6 a PPS. Arabské číslice označují jízdu se soupravou vozidel ze směrové skupiny kolejí, na odjezdovou skupinu kolejí. PPS znamená příjezd pro soupravu vozidel, tedy pohyb lokomotivy z odjezdové skupiny kolejí na směrovou skupinu kolejí. Celkový čas, tedy čas, kdy byl Performance Box zapnut, činí 15203,31 sekund, což je 4 hodiny 13 minut a 22 sekund. Celková ujetá vzdálenost dosahuje hodnoty 18 204,7 metrů. Celkem se uskutečnilo 6 jízd pro soupravu vozidel a 7 jízd se soupravou vozidel. V tabulce tab. 5 jsou znázorněny parametry jednotlivých jízd. Tyto parametry jsem zjistil na základě rozboru jízd pomocí PT, kdy jsem si označil určitou jízdu a program vyhodnotil ujetou dráhu, čas a maximální dosaženou rychlost.





Obr. 5.2: Vykreslení jízd v programu PT a v Google Earth.

Tab. 5.1: Přehled jednotlivých jízd.

Základní údaje jízd						
Jízdy	n [v.j.]	$V_{MAX}$ [km/h]	$t_c$ [s]	L [m]	$a_r$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_b$ [m/s <sup>2</sup> ]
1.	25	25,9	422,2	1597,4	0,1	0,05
PPS		28,4	255,7	1095,9	0,3	0,08
2.1	6	25,6	255,6	776,2	0,11	0,07
2.2	22	21,7	518,3	1454,8	0,09	0,06
PPS		27,7	150,1	661,7	0,27	0,19
3.	28	21,3	874,9	2025,1	0,08	0,03
PPS		27,3	215,8	918,2	0,16	0,15
4.	22	20,8	565,3	1610,6	0,07	0,04
PPS		22,8	255,7	752,7	0,32	0,2
PPS		26,4	218,1	728	0,25	0,06
5.	12	24,3	536,6	1744,8	0,06	0,07
PPS		25,2	216,3	963,3	0,22	0,06
6.	40	26,6	394,7	1927,2	0,06	0,03
<b>13</b>	<b>155</b>	<b>25,2</b>	<b>375,3</b>	<b>1245,1</b>	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>

V tabulce tab. 5.1 jsou zobrazeny parametry jednotlivých jízd. První sloupec označuje typ jízdy, druhý počet přepravených vozů  $n$  během jízdy se soupravou vozidel, třetí zobrazuje maximální rychlost  $V_{MAX}$  každé jízdy, čtvrtý dobu jízdy  $t_c$ , pátý sloupec ujetou vzdálenost  $L$  pro každou jízdu, šestý a sedmý průměrné zrychlení  $a_r$  a průměrné zpomalení  $a_b$ . Z těchto hodnot jsem zjistil, že průměrná maximální rychlost činí  $25,2 \text{ km.h}^{-1}$ , dále že průměrná doba jedné jízdy dosahuje hodnoty 375,3 sekund, průměrná ujetá vzdálenost je 1245,1 metrů, zrychlení a brzdné zpomalení dosahuje hodnot  $0,16 \text{ m.s}^{-2}$  a  $0,08 \text{ m.s}^{-2}$ .



Zrychlení jsem zjistil pomocí funkce Accel results, zadal jsem maximální rychlost při posunu a PT mi vyhodnotil všechny možné případy pro danou rychlost. Dále také vyhodnotil dobu jízdy na požadovanou hodnotu a ujetou vzdálenost. Díky těmto hodnotám jsem vypočítal průměrné zrychlení podle vzorce (5.1). Na obrázku obr. 5.3 je zobrazena ukázka při postupu zjištění zrychlení 1. jízdy. Stejně jsem postupoval při zjištění brzdného zpomalení, k tomuto jsem využil funkce Decel results. Průměrné brzdné zpomalení jsem vypočítal podle vzorce (5.2). Tento případ je zobrazen na obrázku obr. 5.4 také pro 1. jízdu.

$$a_r = \frac{2 \cdot L}{t^2} \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad (5.1)$$

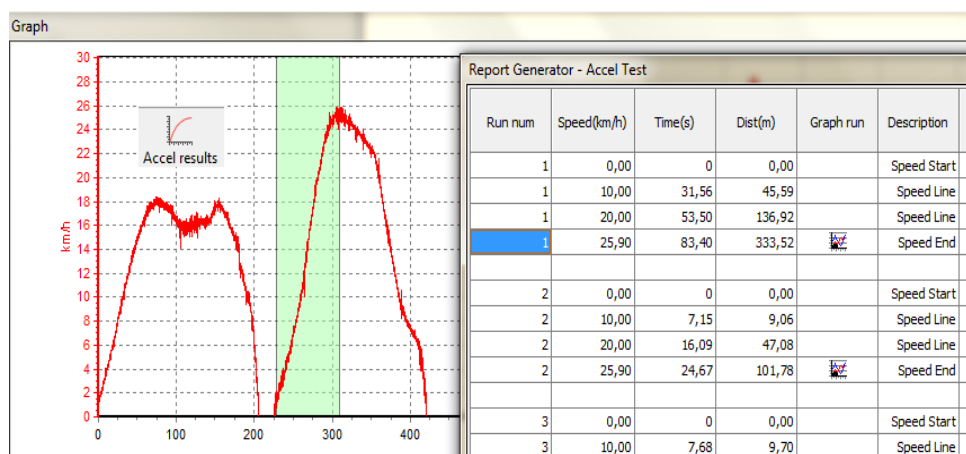
$$a_b = \frac{2 \cdot (v_0 \cdot t - L)}{t^2} \quad [\text{m.s}^{-2}] \quad (5.2)$$

kde:

$L$  ujetá vzdálenost [m]

$t$  čas [s]

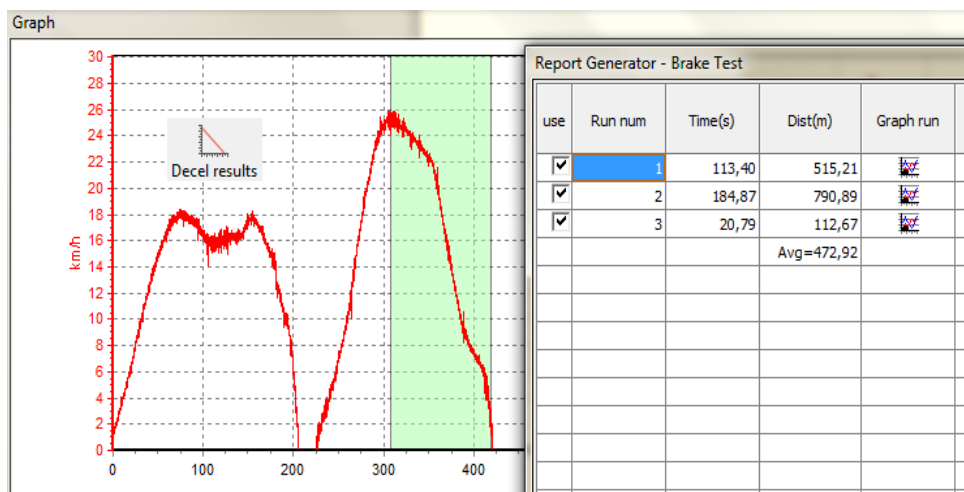
$v_0$  počáteční rychlost [ $\text{km.h}^{-1}$ ]



Obr. 5.3: Postup při výpočtu zrychlení  $a_r$ .

Po dosazení ujeté vzdálenosti  $L$  a času  $t$  na rychlost  $V_{MAX}$  do vzorce 5.1 vypočítám průměrné zrychlení  $a_r$ . Takto jsem postupoval u všech jízd.

$$a_r = \frac{2 \cdot 333,52}{83,4^2} = 0,096 \rightarrow 0,1 \text{ m.s}^{-2}$$

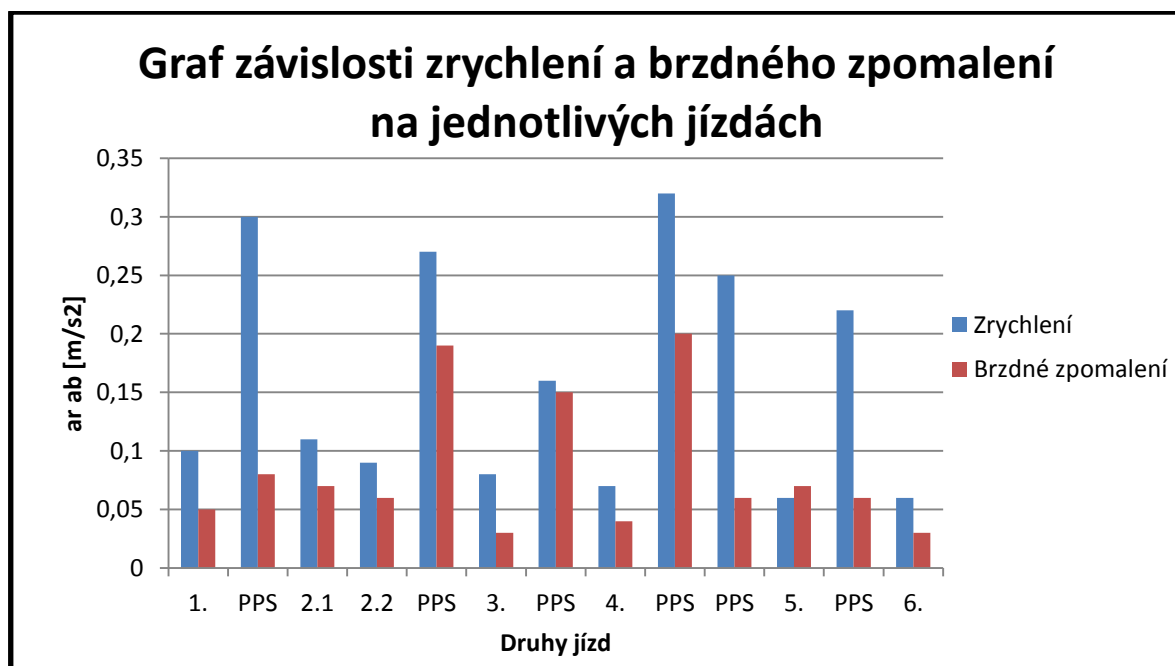


Obr. 5.4: Postup při výpočtu brzdného zpomalení  $a_b$ .

Po dosažení ujeté vzdálenosti  $L$  a času  $t$  na rychlost  $V_{MAX}$  do vzorce 5.2 vypočítám průměrné brzdné zpomalení  $a_b$ . Takto jsem postupoval u všech jízd.

$$a_b = \frac{2 \cdot \left( \frac{25,9}{3,6} \cdot 113,4 - 515,21 \right)}{113,4^2} = 0,046 \rightarrow 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Tabulku tab. 5 jsem dále zpracovával graficky pomocí programu Microsoft Excel. Na obrázku obr. 5.5 je zobrazen graf závislosti jednotlivých jízd na průměrném zrychlení a brzdném zpomalení.



Obr. 5.5: Grafické znázornění zrychlení a brzdného zpomalení.

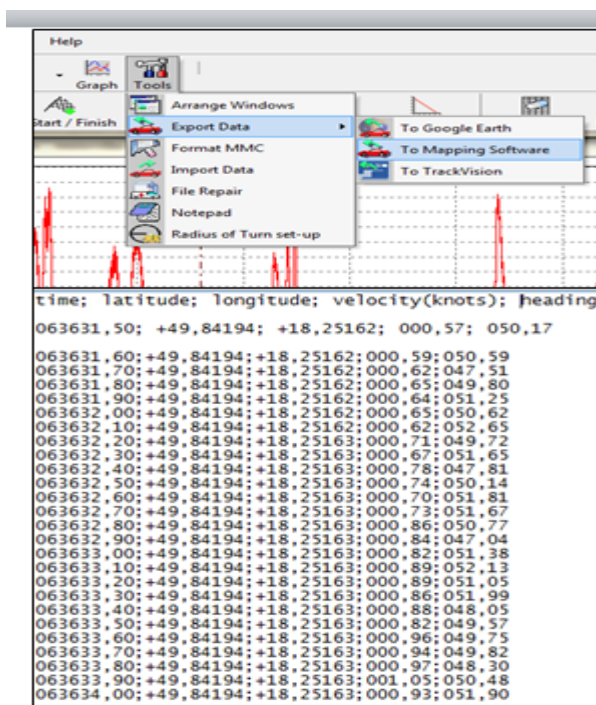
Podle grafu můžu říci, že při jízdě bez soupravy vozidel bylo průměrné zrychlení větší než při jízdě se soupravou vozidel. Nebyla potřeba vyvíjet velkou tažnou sílu a samotná posunovací lokomotiva proto dosahovala i větší rychlostí za kratší dobu. Celkově se tyto hodnoty pohybují v rozmezí (0;1).

## 5.2 Ověření ujeté dráhy při posunu

Performance Box využívá GPS. Pracuje na základě zeměpisných souřadnic, pomocí kterých jsme schopni zjistit naši polohu. Pokud je přístroj Performance Box zapnutý během jízdy z jednoho místa do místa druhého, nepřímo nám zaznamenává naši ujetou dráhu a přesnou pozici.

### 5.2.1 Zjištění zeměpisných souřadnic

Pro výpočet jsem využil funkci Mapping Software, kdy se data po exportování uložila do textového dokumentu. V tomto dokumentu jsou zobrazeny následující údaje: čas, zeměpisná šířka, zeměpisná délka, rychlost a kurs. Číselné údaje jsou vyhodnoceny podle celkového pohybu, při kterém byl přístroj Performance Box zapnut. Export (nahore) a textový dokument (dole) můžete vidět na obrázku obr. 5.6. K vyhledání správných hodnot jsem se orientoval pomocí sloupce kurs. Kurs je určen severem N, který má hodnotu 0° a dále nabývá hodnot ve směru hodinových ručiček. Díky tomu jsem mohl zjistit, kterým směrem se v dané posunovací jízdě lokomotiva pohybovala.



Obr. 5.5: Export dat do textového dokumentu.

Pomocí textového dokumentu jsem zjistil zeměpisné souřadnice jednotlivých jízd potřebných k výpočtu pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli.

### 5.2.2 Výpočet vzdálenosti dvou míst pomocí zeměpisných souřadnic

Po zjištění zeměpisných souřadnic z textového dokumentu jsem počítal jednotlivé jízdy se soupravou vozidel, tedy jízdy 1 – 6 z tabulky tab. 5. Poloměr zeměkoule jsem uvažoval 6378 km. Ukázkové výpočty jsou provedeny pro 1. jízdu Postup výpočtu je následující:

Nejdříve vypočítám úhel vymežující oblouk hlavní kružnice  $D$ , tedy vzdálenost ve stupních a dosadím do rovnice 3.3:

$$D = \arccos(\sin(49,84194) \cdot \sin(49,8471)) + (\cos(49,84194) \cdot \cos(49,8471) \cdot \cos|18,25162 - 18,25861|)$$

$$D = 0,006852^\circ$$

Pro zjištění skutečné kilometrické vzdálenosti  $D_{km}$  jsem hodnotu  $D$  dosadil do vzorce 3.4:

$$D_{km} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 6378}{360} \cdot 0,006852$$

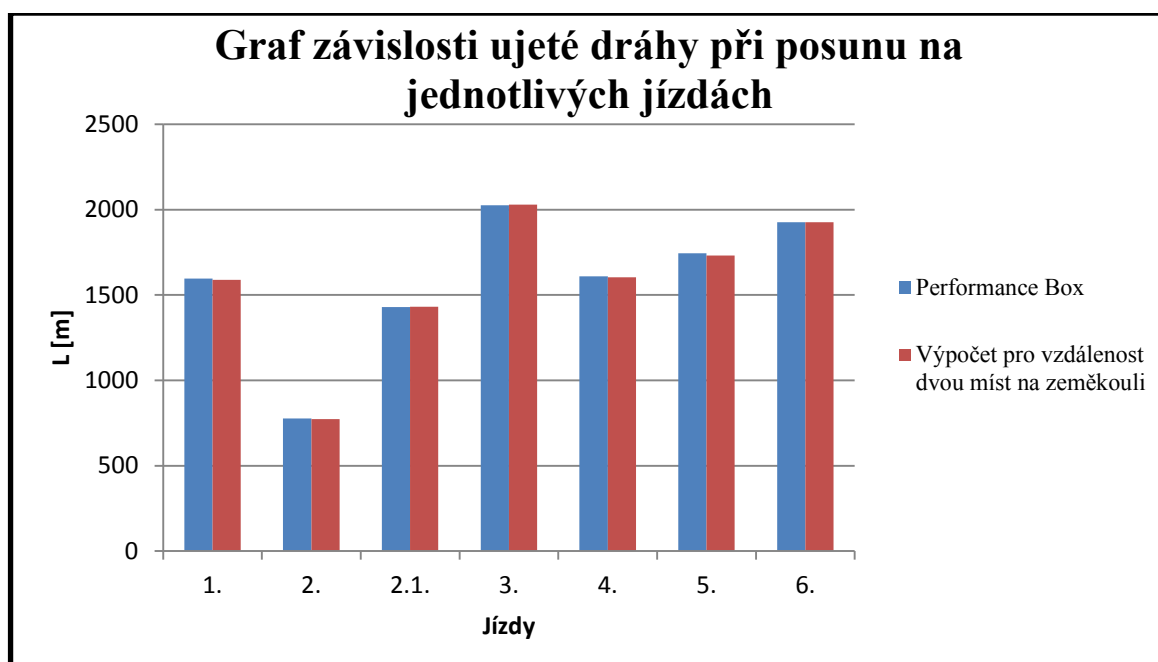
$$D_{km} = 0,76274 \text{ km} \rightarrow 762,7 \text{ m}$$

Tento výpočet je pro případ, kdy lokomotiva táhne soupravu vozidel ze směrové skupiny kolejí. Proto jsem musel provést ještě jeden výpočet, kdy lokomotiva sune celou soupravu na odjezdovou skupinu kolejí. Obě vzdálenosti jsem sečetl a výsledek je tedy 1589,1 m. Tato hodnota představuje vzdálenost počítanou pomocí vzorce pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli. Takto jsem vypočítal všechny jízdy se soupravou vozidel. Výsledky jsem vložil do tabulky tab. 5.2 a pro srovnání jsem do tabulky vložil také hodnoty z Performance Boxu.

Tab. 5.2: Porovnání výsledných vzdáleností.

Porovnání výsledků		
	[m]	
Jízda	Performance Box	Výpočet pro vzdálenost dvou míst
1.	1597,4	1589,1
2.	776,2	773,3
2.1.	1429,9	1432,2
3.	2025,1	2030,2
4.	1610,6	1603,2
5.	1744,8	1732,3
6.	1927,2	1925,7

V tabulce tab. 5.2 můžete vidět ujeté dráhy při posunu naměřené přístrojem Performance Box a hodnoty, které jsem vypočítal pomocí výpočtu pro vzdálenost dvou míst na zeměkouli. Do tabulky jsem uvedl hodnoty pouze pro jízdu se soupravou vozidel, které byly na obrázku obr. 5.1 označeny arabskými čísly. Při srovnávání hodnot jednotlivých jízd můžu říci, že nejpřesnější hodnota je pro 6. jízdu, kdy se výsledky liší pouze o 1,5 metrů. Naopak méně přesná hodnota je pro 5. jízdu, kdy je rozdíl hodnot 12,5 metrů. Průměrný rozdíl těchto výsledků je 5,7 metrů. Pro lepší přehlednost rozdílů výsledných hodnot jsem vytvořil graf závislosti jednotlivých jízd na ujeté dráze při posunu, je zobrazen na obrázku obr. 5.6.



Obr. 5.6: Grafické porovnání ujeté dráhy při posunu.

Podle grafického vyhodnocení je patrné, že rozdíl je minimální a jak jsem již zmínil, průměrný rozdíl hodnot je jen 5,7 metrů, což je podle mého názoru téměř zanedbatelné a můžu tedy říci, že po provedení ověřovacího výpočtu, jsem došel k závěru, že přístroj Performance Box pracuje z hlediska měření ujeté dráhy přesně a spolehlivě.

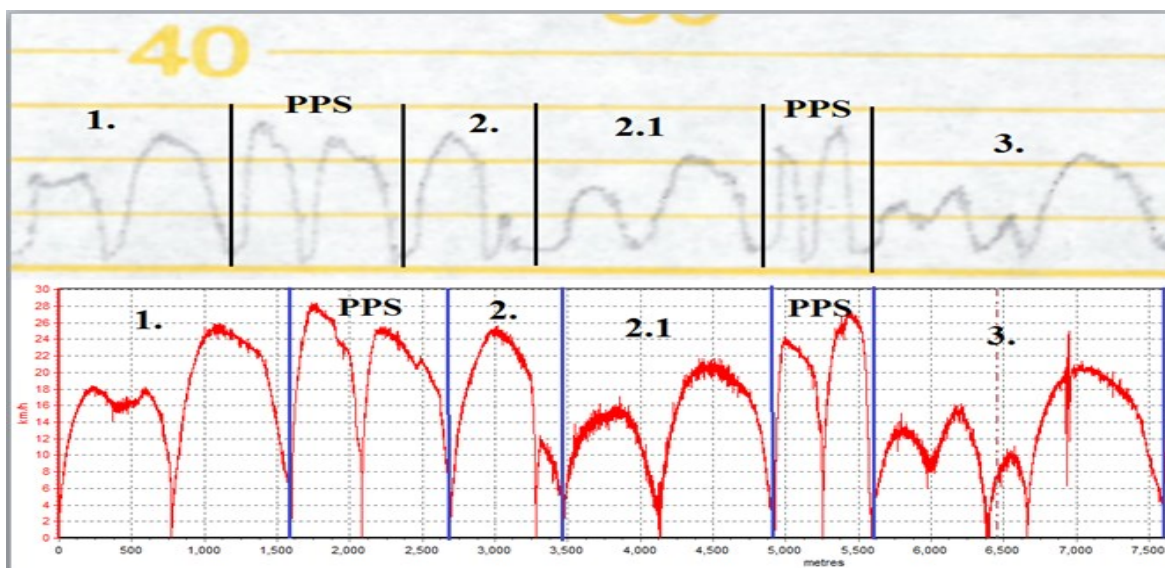
### 5.3 Ověření rychlosti jízdy při posunu

Při měření byl přístroj Performance Box nastaven na režim rychlosti, tedy pracoval jako rychloměr. Každá změna rychlosti byla zaznamenávána a ukládána. Po exportu dat do textového dokumentu, jak je zobrazeno na obrázku obr. 5.5, můžete vidět, že ve sloupci velocity (knots), je uvedena každá změna rychlosti, v tomto případě v uzlech.

Pro ověření, zda přístroj PB pracuje správně jako rychloměr, jsem použil tachograf posunovací lokomotivy a srovnal jsem ho s grafem, který vyhodnotil PT. Další ověření jsem provedl pomocí tachogramu jízdy, abych porovnal rychlost, ujetou dráhu a čas.

#### 5.3.1 Ověření rychlosti pomocí tachografu

Záznam jízdy v podobě tachografu z posunovací lokomotivy jsem podrobně vyšetřil a rozdělil jednotlivé jízdy stejně, jak to je zobrazeno na obrázku obr. 5.1. Tentokrát byl použit graf závislosti rychlosti na ujeté dráze, který mi vyhodnotil PT. Pro lepší přehled jsem vybral pouze prvních 6 jízdy. Toto srovnání je zobrazeno na obrázku obr. 5.7.



Obr. 5.7: Porovnání jízdy z tachografu a grafu z PT.

[1.,2.,2.1,3. – jízda se soupravou vozidel; PPS – příjezd pro soupravu vozidel]

Podle obrázku obr. 5.7 můžu srovnat průběh rychlosti jednotlivých jízd. Horní část označuje výtažek z tachografu posunovací lokomotivy. Žluté čáry představují dosaženou rychlost. Můžu tedy říci, že v tomto případě rychlost nepřesáhla hranici  $30 \text{ km.h}^{-1}$ . Stejně tak je tomu i ve spodní části obrázku, kde je zobrazen výtažek z grafu z PT. Při podrobnějším prozkoumání je patrné, že přístroj PB zaznamenával průběh rychlosti téměř stejně, ale s větší přesností, jelikož můžete vidět i výchyly rychlosti, což u tachografu vidět nemůžete. Nejsou zde tedy žádné velké rozdíly, proto jsem došel k závěru, že při tomto ověření pracuje přístroj PB správně.

### 5.3.2 Ověření rychlosti pomocí tachogramu jízdy

Dalším způsobem jak ověřit správnost rychlosti jsem využil tachogram jízdy. Tachogram je zobrazení závislosti rychlosti na nezávislém parametru. V tomto způsobu jsem využil základní pohybovou rovnici z kapitoly 2.2 a trakční charakteristiku k určování rychlostních stupňů.

Základními parametry, pomocí kterých jsem se řídil při stanovení rychlosti, byly čas a dráha. Nejdříve jsem ale vycházel ze základní pohybové rovnice, kdy jsem si vyjádřil tažnou sílu na obvodu kol  $F_o$ . Na druhé straně rovnice se pak nachází součet vozidlového odporu, traťového odporu a odporu ze zrychlení. Při výpočtech jsem použil hodnoty zobrazeny v tabulce tab. 5.3. Pro ukázkový postup výpočtů jsem použil 1. jízdu.

Tab. 5.3: *Hodnoty potřebné k výpočtu [4][16].*

<b><math>M_L</math> [t]</b>		64
<b><math>M_D</math> [t]</b>		23,5
<b><math>o_L</math>:</b>	a	2,80E-03
	b	0
	c	8,50E-07
<b><math>o_D</math>:</b>	a	2,00E-03
	b	0
	c	8,00E-07
<b><math>\rho</math></b>		0,06

*[ $M_L$  – hmotnost HV;  $M_D$  – hmotnost 1 taženého vozidla;  $\rho$  – součinitel rotujících hmot]*

Nejdříve zjistím vozidlový odpor. Vozidlový odpor se dělí na dvě složky, vozidlový odpor hnacího vozidla a vozidlový odpor tažených vozidel. Nejdříve dosadím do rovnice 2.7 a vypočítám součinitel vozidlového odporu  $o_v$  pro hnací vozidlo:

$$o_v = 2,8 \cdot 10^{-3} + 0 \cdot 0 + 8 \cdot 10^{-7} \cdot 0^2$$

$$\mathbf{o_v = 2,8 \cdot 10^{-3}}$$

Dále dosadím do rovnice 2.8 a vypočítám vozidlový odpor  $O_v$ :

$$O_{VL} = (64 \cdot 9,81 \cdot 1000) \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\mathbf{O_{VL} = 1758 \text{ N}}$$

Stejným postupem jsem vypočítal vozidlový odpor pro tažená vozidla, ale použil jsem koeficienty polynomu z tab. 5.3 označeny  $o_D$ . Tento odpor se dále měnil v závislosti na počtu tažených vozů. Všechny vozy byly prázdné. Po vypočítání vozidlového odporu pro 1. jízdu, kdy bylo přepraveno 25 vozů, jsem došel k výsledku:

$$\mathbf{O_{VD} = 11526,8 \text{ N}}$$

V dalším kroku jsem vypočítal traťový odpor. Při tomto výpočtu potřebuji znát sklon tratě. Sklon jsem zjistil pomocí určených hodnot z Bohumína do Ostravy - Svinov. Dále jsem využil schéma hlavního nádraží v Ostravě, abych určil v místě posunu přesný sklon. V místě posunu dosahuje sklon tratě hodnotu -0,9 ‰ ve směru na Bohumín a 0,9 ‰ ve směru na Ostrava – Svinov. Nejdříve jsem tedy dosadil do rovnice 2.10 a vypočítal součinitel odporu tratě  $o_t$ :

$$o_T = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

A potom jsem dosadil do rovnice 2.9 a vypočítal traťový odpor  $O_T$ :

$$O_T = (64 + 23,5 \cdot 25) \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\mathbf{O_T = 5752,1 \text{ N}}$$

Dále jsem vypočítal odpor zrychlení. K výpočtu jsem potřeboval zjistit zrychlení  $a_r$  a součinitel rotujících hmot  $\rho$ . Zrychlení jsem vyhledal v tabulce tab. 5 pro daný typ jízdy. Součinitel rotujících hmot podle tabulky tab. 5.2. Po dosazení do vzorce 2.22 jsem vypočítal odpor zrychlení  $O_a$ :



$$O_a = (64 + 23,5 \cdot 25) \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot (1 + 0,06)$$

$$\mathbf{O_a = 69\,059\,N}$$

Po vypočítání těchto tří odporů jsem dosadil do rovnice 2.24 a vypočítal tažnou sílu na obvodu kol  $F_o$ :

$$F_o = 69\,059 + 5752,1 + (1758 + 11526,8)$$

$$\mathbf{F_o = 88\,100\,N}$$

Hodnota 88 100 N představuje potřebnou tažnou sílu na obvodu kol pro rozjezd soupravy vozidel. Při jízdě se ale tažná síla zmenšuje. Pro číselnou konstrukci tachogramu jízdy potřebuji znát další parametry. Postup výpočtu jsem uvedl pro dobu jízdy 5 sekund, aby se neobjevovaly nuly ve výsledcích. Postup je následující:

Nejdříve jsem dosadil do rovnice 2.26, vyjádřil a následně vypočítal  $\Delta V_6$ :

$$\Delta V_6 = 3,6 \cdot 1 \cdot \frac{88100 - 1758 - 11536,3 - 5721,1}{(64 + 23,5 \cdot 25) \cdot 10^3 \cdot (1 + 0,06)}$$

$$\mathbf{\Delta V_6 = 0,36\,km.h^{-1}}$$

Dále jsem dosadil do rovnice 2.28 a vypočítal  $V_{i-1}$ :

$$\mathbf{V_6 = 1,44\,km.h^{-1}}$$

Potom jsem dosadil do rovnice 2.27 a vypočítal  $V_6$ :

$$V_6 = 0,36 + 1,44$$

$$\mathbf{V_6 = 1,8\,km.h^{-1}}$$

Nakonec jsem dosadil do rovnice 2.29 a vypočítal  $V_s$ :

$$V_s = \frac{1,44 + 1,8}{2}$$

$$V_s = 1,62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Těmito výpočty jsem zjistil rychlostní parametry. Dále potřebuji znát délkové parametry. Postupoval jsem následovně:

Nejdříve jsem dosadil do rovnice 2.30 a vypočítal jsem  $\Delta L$ :

$$\Delta L_6 = \frac{1}{3600} \cdot 1,62$$

$$\Delta L_6 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ km}$$

A potom jsem dosadil do rovnice 2.31 a vypočítal  $L_6$ :

$$L_6 = 4,5 \cdot 10^{-4} + 0,001$$

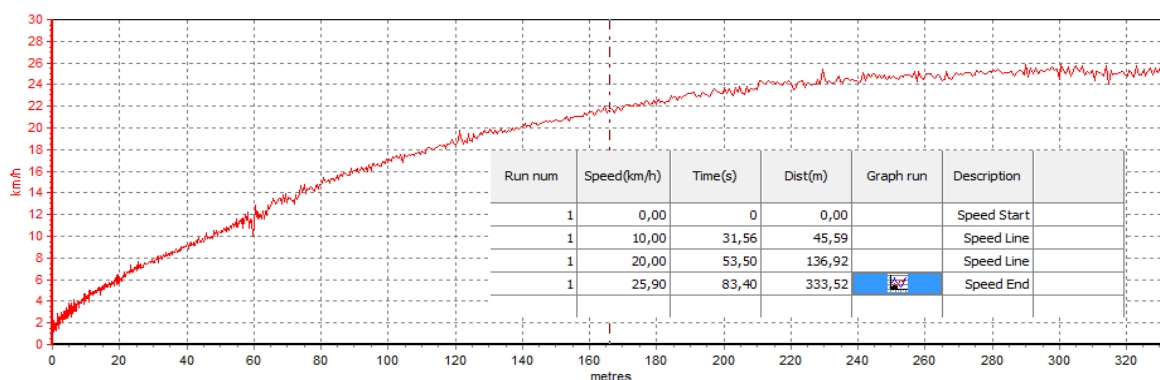
$$L_6 = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ km}$$

Pro usnadnění práce jsem si vytvořil tabulku v programu Microsoft Excel. Do tabulky byly zadány všechny rovnice a ostatní potřebné parametry. Poté mi pouze stačilo měnit hnací sílu na obvodu kol. Náhled do tabulky je zobrazen na obrázku obr. 5.8.

<i>i</i>	$\Delta t_i$ [s]	$F_o$ [N]	$s_r$ [%]	$O_L$ [N]	$O_D$ [N]	$O_T$ [N]	$V_{Lr}$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$\Delta V_i$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$V_i$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$V_s$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$\Delta L_i$ [km]	$L_i$ [km]	RS
1	0,00	88100	0,9	1758,0	11526,8	5752,1	0	0,00	0	0	0	0	AS
2	1,00	88100	0,9	1758,0	11526,8	5752,1	0,00	0,36	0,36	0,18	0,000	0,000	3
3	1,00	88100	0,9	1758,0	11527,3	5752,1	0,36	0,36	0,72	0,54	0,000	0,000	3
4	1,00	88100	0,9	1758,2	11529,1	5752,1	0,72	0,36	1,08	0,90	0,000	0,000	3
5	1,00	88100	0,9	1758,6	11532,1	5752,1	1,08	0,36	1,44	1,26	0,000	0,001	3
6	1,00	88100	0,9	1759,1	11536,3	5752,1	1,44	0,36	1,80	1,62	0,000	0,001	3
7	1,00	88100	0,9	1759,7	11541,7	5752,1	1,80	0,36	2,16	1,98	0,001	0,002	3
8	1,00	88100	0,9	1760,4	11548,3	5752,1	2,16	0,36	2,52	2,34	0,001	0,002	3
9	1,00	88100	0,9	1761,3	11556,0	5752,1	2,52	0,36	2,88	2,70	0,001	0,003	3
10	1,00	88100	0,9	1762,4	11565,0	5752,1	2,88	0,36	3,24	3,06	0,001	0,004	3
11	1,00	88100	0,9	1763,6	11575,1	5752,1	3,24	0,36	3,60	3,42	0,001	0,005	3
12	1,00	87000	0,9	1764,9	11586,5	5752,1	3,60	0,35	3,95	3,78	0,001	0,006	3
13	1,00	87000	0,9	1766,3	11598,8	5752,1	3,95	0,35	4,31	4,13	0,001	0,007	3
14	1,00	87000	0,9	1767,9	11612,3	5752,1	4,31	0,35	4,66	4,48	0,001	0,008	3
15	1,00	87000	0,9	1769,5	11626,9	5752,1	4,66	0,35	5,01	4,84	0,001	0,010	3
16	1,00	87000	0,9	1771,4	11642,7	5752,1	5,01	0,35	5,37	5,19	0,001	0,011	3
17	1,00	87000	0,9	1773,3	11659,6	5752,1	5,37	0,35	5,72	5,54	0,002	0,013	3
18	1,00	87000	0,9	1775,4	11677,7	5752,1	5,72	0,35	6,08	5,90	0,002	0,014	3
19	1,00	85000	0,9	1777,6	11696,9	5752,1	6,08	0,34	6,42	6,25	0,002	0,016	3
20	1,00	85000	0,9	1779,9	11716,7	5752,1	6,42	0,34	6,76	6,59	0,002	0,018	3
21	1,00	85000	0,9	1782,3	11737,5	5752,1	6,76	0,34	7,10	6,93	0,002	0,020	3
22	1,00	85000	0,9	1784,9	11759,4	5752,1	7,10	0,34	7,45	7,27	0,002	0,022	3
23	1,00	85000	0,9	1787,5	11782,4	5752,1	7,45	0,34	7,79	7,62	0,002	0,024	3
24	1,00	85000	0,9	1790,3	11806,4	5752,1	7,79	0,34	8,13	7,96	0,002	0,026	3
25	1,00	85000	0,9	1793,2	11831,5	5752,1	8,13	0,34	8,47	8,30	0,002	0,029	3
26	1,00	85000	0,9	1796,3	11857,7	5752,1	8,47	0,34	8,81	8,64	0,002	0,031	3
27	1,00	85000	0,9	1799,4	11885,0	5752,1	8,81	0,34	9,16	8,99	0,002	0,033	4
28	1,00	85000	0,9	1802,7	11913,3	5752,1	9,16	0,34	9,50	9,33	0,003	0,036	4

Obr. 5.8: Výpočtová tabulka v programu Microsoft Excel.

Pomocí této tabulky jsem ověřoval rychlost pro několik vybraných jízd. Ať už jízda se soupravou vozidel nebo jízda samotné posunovací lokomotivy. Vždy jsem se snažil co nejvíce přiblížit hodnotám, které mi vyhodnotil PB až po dosažení maximální rychlosti  $V_{MAX}$  z tabulky tab. 5. Vycházel jsem z grafu v programu PT. Nejdříve jsem vyhodnotil zrychlení (obr. 5.3) a poté jsem k vybrané jízdě rozkreslil celou situaci, zobrazeno na obrázku obr. 5.10. Dále jsem postupoval tak, že jsem si při každé jízdě stanovil ujetou dráhu  $L$  např. 40, 100, 160 a 220. Při dosažení jednotlivých hodnot se musela podobat rychlost a čas. Při dosažení  $V_{MAX}$  se musela shodovat doba jízdy, ujetá dráha a rychlost.



Obr. 5.9: Rozkreslení jízdy na rychlost  $V_{MAX}$ .

Na obrázku obr. 5.9 je zobrazen graf závislosti rychlosti na ujeté dráze pro 1. jízdu. Takto jsem postupoval při určování rychlostí se všemi jízdami.

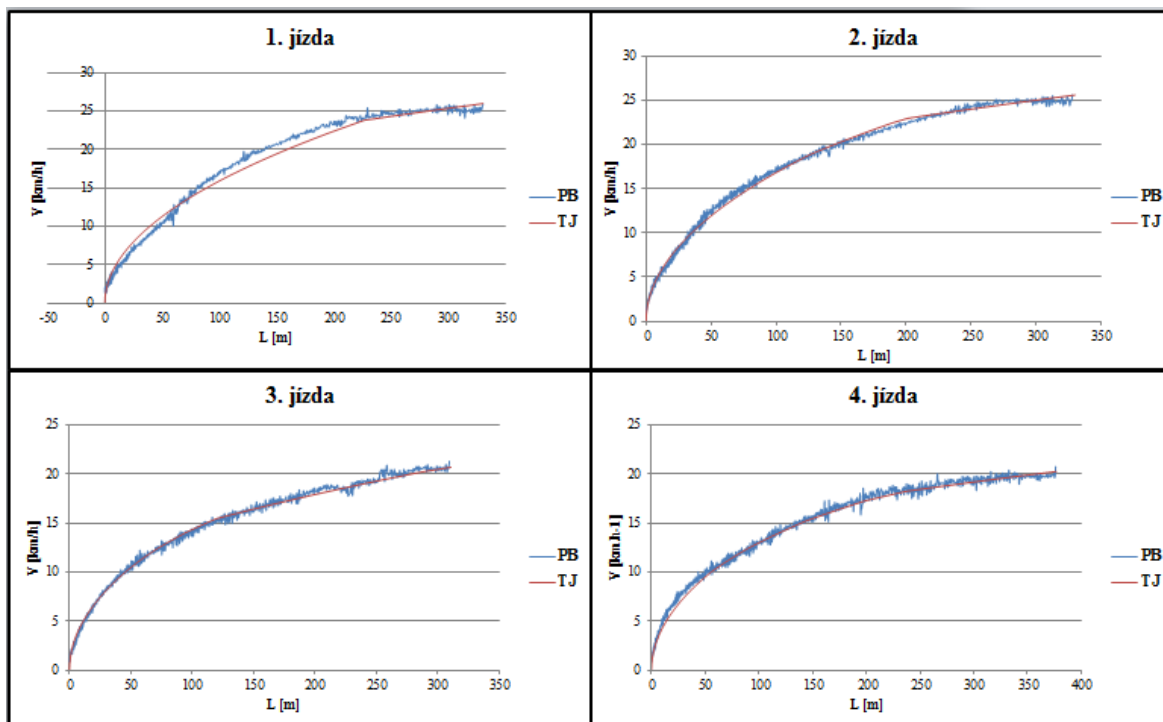
Porovnání vybraných výsledků										
	[km.h <sup>-1</sup> ]									
	1. jízda		2. jízda		3. jízda		4. jízda		5. jízda	
	PB	TJ	PB	TJ	PB	TJ	PB	TJ	PB	TJ
40 m	9,17	9,84	11,08	10,67	9,52	9,62	8,97	8,55	8,54	7,97
100 m	16,83	15,59	17,26	16,92	14,18	14,28	12,87	13,05	10,17	11,17
160 m	21,51	20,05	20,7	20,81	16,95	16,73	15,95	15,92	12,36	13,57
220 m	24,17	23,47	23,32	23,39	18,55	18,43	17,76	17,76	18,92	18,39
$L_{MAX}$ m	25,75	25,98	25,6	25,59	21,3	21,96	20,8	20,28	24,3	24,14
t [s]	83,4	83	78	80	95	96	105	108	125,6	128

Obr. 5.10: Porovnání výsledných hodnot.

[PB – Performance Box; TJ – tachogram jízdy]

Obrázek 5.10 znázorňuje tabulku, ve které jsem porovnával hodnoty vybraných jízd. PB znamená hodnota z Performance Boxu a TJ znamená tachogram jízdy. V levém sloupci jsou zobrazeny záchytné vzdálenosti, ve kterých jsem rychlost porovnával. Maximální

ujetá dráha  $L_{MAX}$  je pro každý typ jízdy jiná. Ve spodním řádku je čas  $t$ , tzn. doba, kdy souprava vozidel dosáhla maximální rychlosti  $V_{MAX}$  a  $L_{MAX}$ . Pro lepší přehlednost jsem hodnoty zpracovával graficky, zobrazeno na obrázku obr. 5.11.



Obr. 5.11: Grafy závislosti rychlosti na ujeté dráze.

[PB – Performance Box; TJ – Tachogram jízdy]

## 6 Provozně technické hodnocení

Na základě ověřovacích výpočtů jsem došel k závěru, že přístroj Performance Box pracoval přesně a spolehlivě. Při ověřování ujeté dráhy ručními výpočty se výsledné hodnoty lišili s hodnotami z PB minimálně. Při ověřování rychlosti a doby jízdy pomocí tachogramu jízdy se hodnoty také moc nelišili. Při porovnání průběhu rychlosti s tachografem bylo zřejmé, že PB zaznamenává průběh rychlosti mnohem detailněji a přesněji. Práce s programem Performance Tools je jednoduchá a přehledná. Velice užitečné jsou exporty do formátů, které můžu využít v jiných programech jako například Google Earth nebo Microsoft Excel. Proto bych tento přístroj k sledování pohybu vozidel určitě doporučil.

Na druhou stranu jsem při práci s programem zjistil, že tento program není vhodný pro vozidla, která mají dlouhou dobu rozjezdu a dosahují malých rychlostí. Grafické znázornění a číselné hodnoty jsou totiž hodně přesné a dost často se objevovaly velké výkyvy rychlosti. Tyto problémy jsou způsobeny tím, že přístroj Performance Box je speciálně určen pro závodní vozidla. Proto bych ke sledování pohybu železničních vozidel při posunu volil jiný systém.

## 7 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval použitím přístroje Performance Box při posunu železničních vozidel. Přístroj PB pracuje na základě GPS. Cílem této práce bylo vyhodnotit naměřená data prostřednictvím programu Performance Tools a tyto data ověřit pomocí výpočtů. Pomocí výpočtů jsem ověřoval ujetou dráhu a rychlost. Pro ověření ujeté dráhy při každém posunu jsem na základě zeměpisných souřadnic použil vzorec pro výpočet dvou míst na zeměkouli. Pro ověření rychlosti při každém posunu jsem na základě pohybové rovnice kolejových vozidel použil tachogram jízdy. Výsledné hodnoty jsem navzájem porovnával a vykreslil graficky.

V teoretické části jsem se zabýval definicí posunu, pohybem kolejových vozidel a jednotlivými odpory proti pohybu vozidla. Podal jsem základní informace o měřicím přístroji Performance Box a nakonec jsem uvedl vzorce pro výpočet dvou míst na zeměkouli.

V praktické části jsem nejdříve popsal celý průběh měření. Vyhodnotil jsem data, která jsem zpracoval tabulkově i graficky. Mezi vyhodnocená data patří, maximální dosažená rychlost, ujetá dráha a doba jednotlivých posunů, zrychlení a brzdné zpomalení každé jízdy. Provedl jsem ověřovací výpočty pro ujetou dráhu jednotlivých posunů prostřednictvím vzorce pro výpočet dvou míst na zeměkouli. Výsledné hodnoty jsem porovnal jak tabulkově, tak graficky. Při porovnání jsem došel k závěru, že hodnoty se liší pouze minimálně, proto můžu říci, že PB měří ujetou dráhu správně a přesně. V další části jsem ověřoval průběh rychlosti až po dosažení maximální rychlosti. Při ověřování jsem nejdříve porovnal rychlost naměřenou PB s tachografem. Došel jsem k závěru, že průběh rychlosti je vykreslen stejně, i když mnohem podrobnější měření zaznamenal PB. Posléze jsem provedl ověřovací výpočty pomocí tabulkového tachogramu jízdy na základě pohybové rovnice kolejových vozidel a dalších vzorců pro sestavení tachogramu jízdy. Pomocí tachogramu jízdy jsem porovnával hlavně dosaženou rychlost ve vybraných bodech s rychlostí, kterou v těchto bodech zaznamenal PB. Po dosažení maximální rychlosti jsem výpočet ukončil. Tímto způsobem jsem ale ověřil i potřebnou dobu k dosažení maximální rychlosti. Výsledné hodnoty jsem porovnal grafem závislosti průběhu rychlosti na ujeté dráze. Došel jsem k závěru, že rozdílnosti jsou minimální, ale podrobnější měření zase zaznamenal PB.

## 8 Seznam zdrojů a použité literatury

- [1] DANĚK, Jan a Vladislav KUBEŠ. *Základy technologie dopravy: železniční doprava*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003, 153 s. ISBN 80-248-0508-1.
- [2] SŽDC - D1: Dopravní a návěštní předpis. [online]. 2013, 14. prosinec 2014 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://provoz.szdc.cz/portal/ViewDirective.aspx?oid=870001>
- [3] DANĚK, Jan a Dušan TEICHMANN. *Technologie železniční dopravy*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 130 s. ISBN 978-80-248-1568-8.
- [4] ŠIROKÝ, J. *Mechanika v dopravě I Kolejová vozidla* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0536-7. [18. 1. 2015]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Skr\\_MvD.pdf](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Skr_MvD.pdf)
- [5] ŠIROKÝ, J. *Stanovení parametrů jízdy vlaku* [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd\\_tach\\_sylab.htm](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd_tach_sylab.htm)
- [6] ŠOLTÝS V., KECLÍK J., KUBENKA J.: *Automatizácia v železničnej doprave*. Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00342-0
- [7] ŠIROKÝ, Jaromír, Jaroslav MÜLLER a Stanislav ZAPLETAL. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Univerzita Pardubice. *Stavba železničních kolejových vozidel* [online]. První. 2013 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: [http://issuu.com/michdor/docs/m10\\_text?e=7481937/1650042](http://issuu.com/michdor/docs/m10_text?e=7481937/1650042)
- [8] ZITKO, Martin. *Vagony* [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/vagony/energie.html>
- [9] VBOX Motorsport. [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <http://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance/p/performancemeters/performance-box>
- [10] RLPB\_Manual-English, PerformanceBox, Racelogic Ltd, England.
- [11] *Úvod do kartografie* [online]. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7368-344-3. Dostupné z: [http://www1.osu.cz/~krticka/Krticka\\_DiV\\_Kartografie.pdf](http://www1.osu.cz/~krticka/Krticka_DiV_Kartografie.pdf)
- [12] PAVEL, Červený. Jak správně měřit vzdálenosti na mapách. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://clanky.rvp.cz/clanek/k/z/1638/JAK-SPRAVNE-MERIT-VZDALENOSTI-NA-MAPACH.html/>
- [13] ŠVESTKA, David. Atlas Lokomotiv. [online]. 2014-2015 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-742.html>

- [14] VLAKY.NET. [online]. 2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/003232-Lokomotivy-rady-742-T-4662/>
- [15] JAROMÍR, Š. *Přehled parametrů vybraných vozidel nezávislé vozby* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/vozidla\\_t.htm](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/vozidla_t.htm)
- [16] *Katalog železničních nákladních vozů ČD Cargo, a.s.* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/katalog-nakladnich-vozu>



## **9 Seznam příloh na CD**

[A] Trakční charakteristika lokomotivy řady 742

[B] Tabulkový tachogram pro všechny jízdy

[C] Tachograf

